

出國報告（出國類別：其他）

**赴美查核「核電廠小幅度功率提升案」
超音波流量計校驗測試**

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：吳成吉 技正

派赴國家：美國

出國期間：95年12月16日~12月25日

報告日期：96年2月22日

目 次

摘 要

(頁碼)

壹、目 的.....	1
貳、行 程.....	2
參、公差紀要.....	2
一、參訪美國 Seabrook 核能電廠.....	2
(一) 美國 Seabrook 核能電廠簡介.....	2
(二) 電廠簡報與討論.....	3
(三) Seabrook 核能電廠 LEFM 流量計現場參觀.....	7
二、查核 Alden 實驗室執行 LEFM 流量計測試.....	9
(一) Alden 實驗室簡介.....	9
(二) 核二廠 LEFM 流量計校驗測試.....	12
(三) Alden 實驗室相關研究.....	23
肆、心得與建議.....	25
伍、附 件.....	26
附件一：Ernie Hauser LEFM 流量計簡報資料	
附件二：美國 Seabrook 核能電廠簡報資料	
附件三：「Hydraulic Calibration Plan for Kuosheng Unit 1 & 2 LEFM 18”Chordal Spool Pieces」, Caldon ALD-1092	
附件四：Alden 實驗室 PTC-6 流量計不準度校驗	
附件五：「Uncertainty Analysis for Thermal Power Determination at Kuosheng NPS 1&2 Using the LEFM CheckPlus System」, Caldon ER-541 Rev.2	

摘 要

核二廠現正進行小幅度功率提升計畫，且將配合 96 年度一、二號機機組大修期間，由國外廠家 Cameron 完成 LEFM 超音波流量計 (UFM) 之安裝及測試。台電公司已將核二廠小幅度功率提升安全分析報告送本會審查，為慎重起見，原子能委員會派員至美國 Alden 實驗室現場查核上述超音波流量計之校驗測試，作為未來本會核定核能電廠功率提升率之依據；另於赴美期間亦拜訪已安裝 LEFM 流量計的美國 Seabrook 核能電廠，了解其使用情形與美國核管會 (NRC) 相關管制作業。

Seabrook 核能電廠 LEFM 流量計安裝後，實際運轉時反應爐額定熱功率提升約 1.65 %，由實際運轉所量測之相關流體力學數據，很接近 Alden 實驗室量測數據，當 LEFM 流量計故障時有 48 小時允許修復時間。核二廠全尺寸 LEFM 流量計經 Alden 實驗室校驗測試之結果，在水流平面比 (FR) 0.85 與 0.95 間，流量計校正係數 (MF) 僅有小於 0.08% 的變動，流量不準度為 0.21%，可作為核二廠小幅度功率提升案審查與本會未來核准之參考。

壹、目的

由於設備量測不準度的提升，國際間核能電廠安裝精準度已改善的流量計，在法規管制的許可下，小幅度增加發電功率已相當普遍。台電公司現正進行核二廠小幅度功率提升計畫，並已將核二廠小幅度功率提升安全分析報告送本會審查，且於日前開標確定由美國廠商 Cameron 公司進行 LEFM (Leading Edge Flow Meter CheckPlusTM, Caldon) 超音波流量計之安裝，並將配合於 96 年度核二廠一、二號機機組大修期間完成安裝及測試，以執行小幅度功率提升。

鑑於超音波流量計的精準度與其未來本會核准的功率提升率有相當關聯，且核二廠將成為本國第一個安裝超音波流量計的核能電廠，未來核一與核三廠小幅度功率提升案，若仍由 Cameron 公司得標時，將安裝同一類型的超音波流量計，為確保其品質與正確性，使台電公司核能電廠在小幅度功率提升設計下，仍能符合核能管制的法規要求，故赴美實地查核 Cameron 公司在美國 Alden 實驗室，執行全尺寸 LEFM 超音波流量計之安裝與校驗測試。美國核管會 (NRC) 亦曾於 2006 年 1 月派員至 Alden 實驗室執行上述超音波流量計校驗測試之稽查，驗證此設備之精準度，作為美國 Seabrook 核能電廠申請小幅度功率提升案核准之參考。

另於赴美期間除查核流量計校驗測試外，拜訪已安裝 LEFM 流量計的美國 Seabrook 核能電廠，就近了解其使用情形與經驗，以及美國核管會對其小幅度功率提升相關管制作業，可作為台電公司核能電廠未來運轉與本會對國內核能安全管理工作的參考，對國內核能安全應有實質之助益。

貳、行程

日期	行程內容
12月16~17日	往程：台北 紐約 波士頓
12月18日	參訪美國 Seabrook 核能電廠
12月19~22日	查核 Alden 實驗室執行 LEFM 流量計測試
12月23~25日	回程：波士頓 紐約 台北

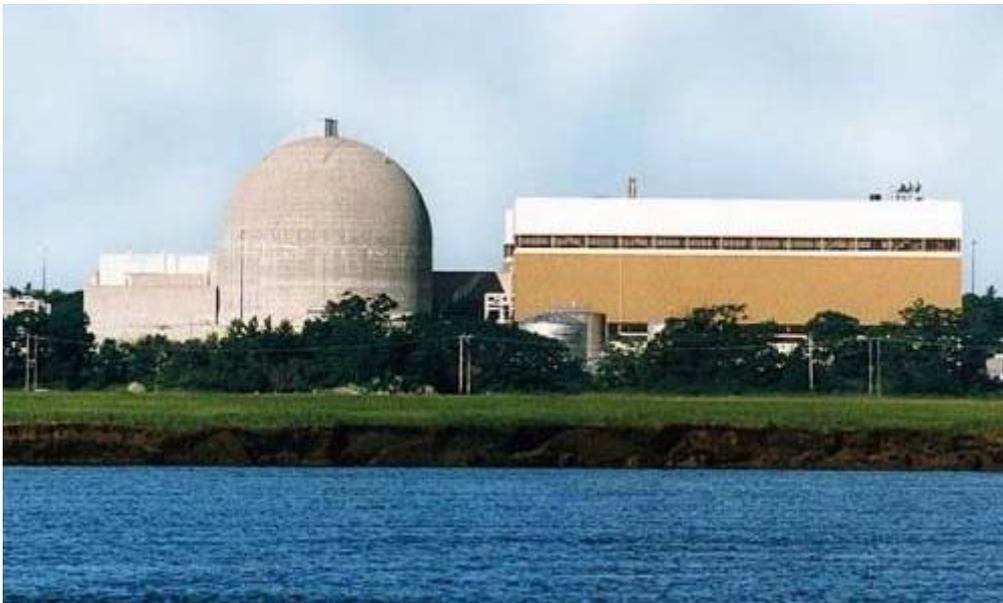
參、公差紀要

台電公司所進行的核二廠小幅度功率提升計畫，其工程顧問主要委託核能研究所執行，核能研究所再委請美國 Sargent & Lundy 公司提供相關技術支援，計畫中 LEFM 超音波流量計包括軟、硬體設備，皆由美國廠商 Cameron 公司提供並將至核二廠進行安裝，Cameron 公司在台之代理商為富迪斯公司。此次參訪美國 Seabrook 核能電廠與查核 Alden 實驗室執行 LEFM 流量計校驗測試的行程，皆是由 Cameron 公司安排，Cameron 公司 Mr. Ernie Hauser 帶隊（Mr. Hauser 於 1987 年在美國匹茲堡（Pittsburgh）創立 Caldon 公司，發展超音波流量計，因前幾年受到西屋公司（Westinghouse）不實報導，導致公司營運不佳，於 2006 年併入 Cameron 公司，現為其量測部門主管，曾於 95 年 12 月 7 日至本會簡報 LEFM 流量計（附件一）），同團人員包括核二廠儀控課劉宗興股長，核能研究所核工組張欽章博士與蘇永仁博士，Sargent & Lundy 公司計畫經理王同陸博士，以及富迪斯公司劉倩騏總經理，以下簡述此次參訪與查核情形：

一、參訪美國 Seabrook 核能電廠

（一）美國 Seabrook 核能電廠簡介

美國 Seabrook 核能電廠位於美國新罕布夏州 (New Hampshire) 南方海邊，離麻州 (Massachusetts) 北方邊界 2 英哩處 (波士頓北方 40 英哩處)，為西屋公司 (Westinghouse) 4 冷卻水迴路壓水式反應爐 (Four-loop PWR)，反應爐高 40 英呎，寬 15 英呎，內有 193 束核燃料，反應爐額定熱功率 3587MWth；圍阻體為雙層水泥鋼板圓型屋頂建物，外部高度 219 英呎，內部直徑 140 英呎，厚度為 5.5 英呎；汽機與發電機為通用公司 (General Electric) 1800rpm 與 22Kv 機型，發電量為 1218MWe；海水泵室連接 2 條 3 英哩海水渠道，用以從大西洋取海水來冷卻蒸汽產生器，並排水至大西洋。



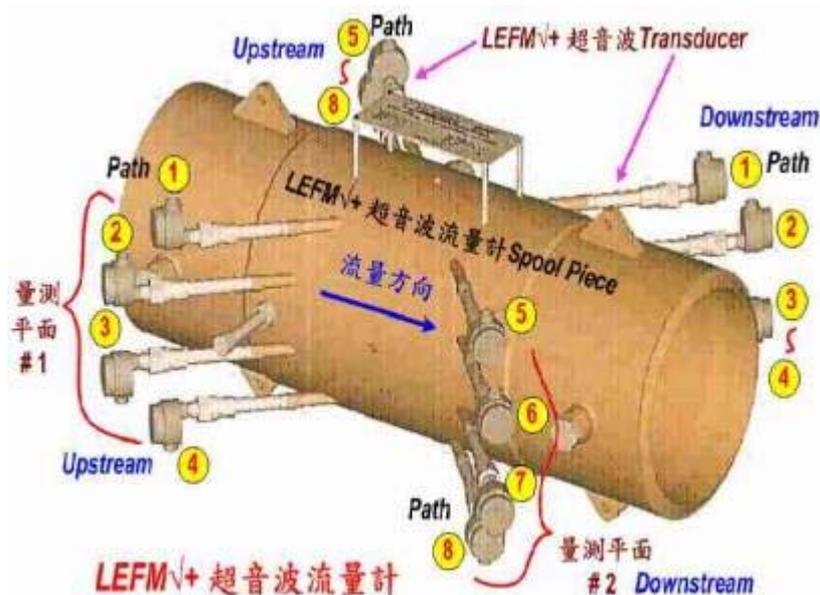
Seabrook 核能電廠於 1976 年 7 月得到 NRC 建照許可，工程顧問與建造廠商為 United Engineers and Constructors 公司，原計畫為建造二部機組，然 2 號機因建造延遲、費用超過、與難以取得資金，而無法完成，部分已裝置之設備暫時封存或者移除；1 號機於 1986 年 10 月得到 NRC 低功率運轉許可，1990 年 3 月得到高功率運轉許可，1990 年 7 月反應爐達初始臨界 (Initial Criticality)，1990 年 8 月正式商業運轉，總投資為美金 60 億元。

(二) 電廠簡報與討論

本次參訪 Seabrook 核能電廠之目的為了解其實際使用 LEFM 流量計的情形

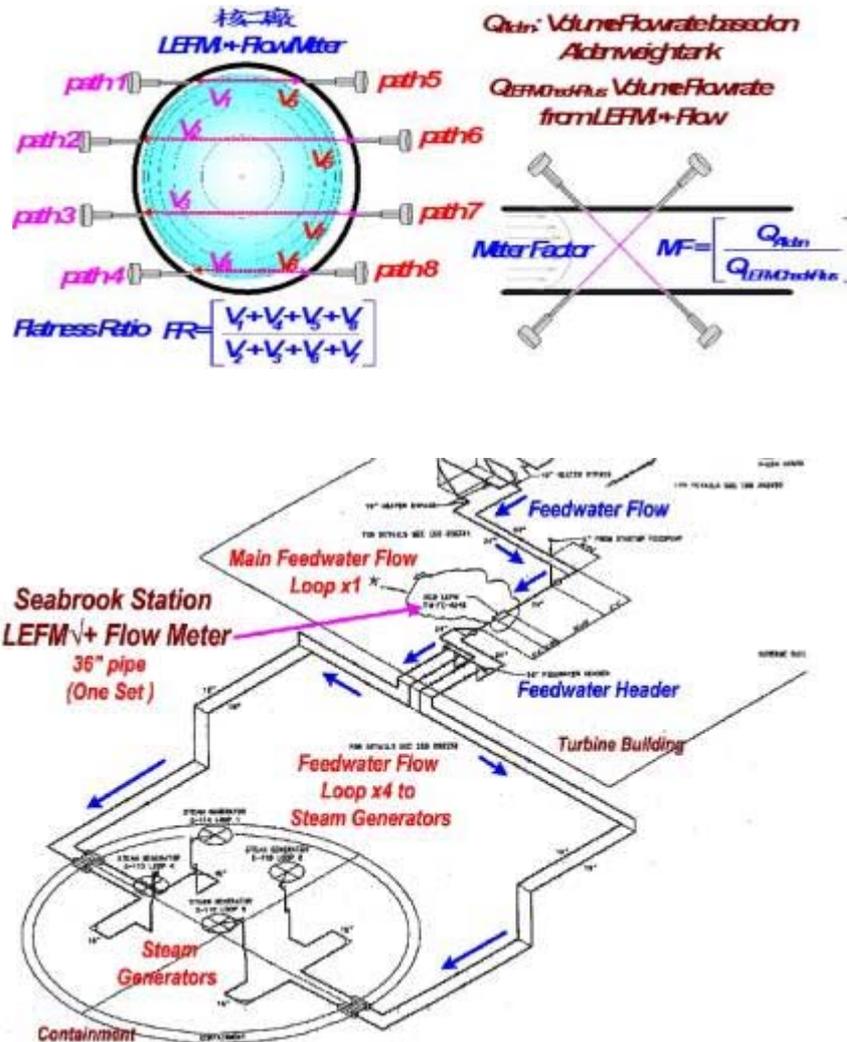
與運轉經驗，12月18日上午在 Mr. Hauser 帶領下至 Seabrook 核能電廠，電廠由資深工程師 Mr. Robert C. Dean Jr.、反應爐工程師 Mr. Robert L. Couture 與一位工程技術人員接待，首先電廠在參觀中心（The Science & Nature Center）進行簡報（附件二），內容包括：電廠簡介、LEFM 系統安裝與其使用情形。Seabrook 核能電廠於 2005 年 9 月依據 LEFM 系統向 NRC 提出小幅度功率（1.7%）提升申請，NRC 於 2006 年 1 月派員至 Alden 實驗室，現場查核即將安裝於 Seabrook 核能電廠的 LEFM 流量計校驗測試，並於 2006 年 5 月核准 Seabrook 核能電廠 1.7% 功率提升申請案（反應爐額定熱功率提升至 3648MWth，發電量提升至 1294MWe）。

Seabrook 核能電廠裝置 1 套 LEFM 超音波流量計，有 2 組量測平面，每一量測平面裝有 8 支超音波轉換器（Transducer），因此總共有 16 支 Transducer，可量測流動速度輪廓（Flow Velocity Profile），再由流動速度輪廓可算出水流平面比（Flatness Ratio, FR，即 Transducer 間的校正係數）與



流量計校正係數（Meter Factor, MF，即流量經 Alden 實驗室校驗測試的校正係數），流量計直徑為 36 英吋，安裝於飼水控制閥上游的飼水集管上（有別於核二廠不在飼水集管上，而於 2 串飼水管路原各 Venturi 流量計上游管路上，分別安

裝 1 套 20 英吋 LEFM 流量計)



安裝後反應爐額定熱功率實際運轉時提升約 1.65 %，由實際運轉所量測相關流體力學數據，很接近 Alden 實驗室量測數據：水流平面比 (FR) 校驗測試值為 0.897，而電廠 100% 額定熱功率運轉量測值為 0.896；流量計校正係數 (MF) 對應 FR 值非常接近分析值 (請參考下圖)；對於電廠實際運轉時旋流率 (Swirl Rate) 之影響，如同 Alden 實驗室校驗測試時可以忽略，且至今 LEFM 流量計實際運轉狀況良好，尚未發生故障而不可用。至於原先蒸汽流量與飼水流量測定方式 (Venturi Calorimetric Methods) 仍然維持可用，作為流量測定之備用方式 (附件二)。Mr. Hauser 很自豪的表示 Seabrook 核能電廠的 LEFM 流量計，是目前所

安裝最精準的流量計之一。

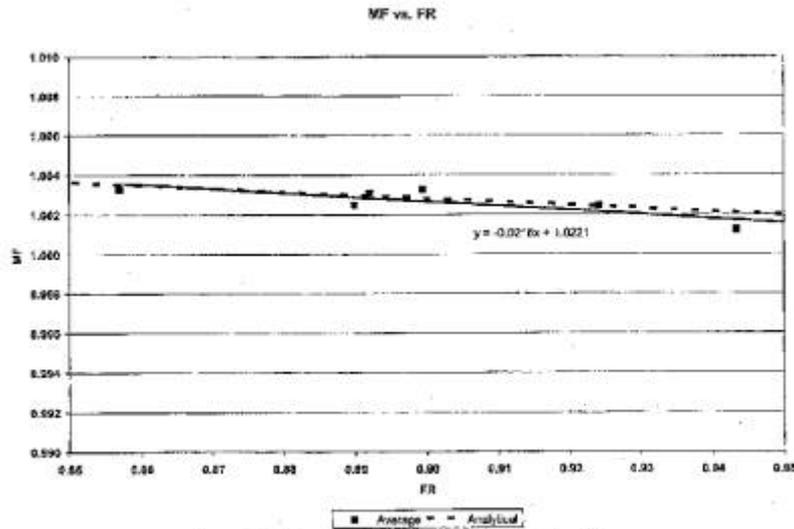


Figure 7: MF vs. FR for Seabrook Calibration Data
(Equation on Graph is for the Seabrook Data)

因在核二廠小幅度功率提升案審查時，大家關切的一個議題是當 LEFM 流量計發生故障時，電廠如何處置，因此詢問 Seabrook 核能電廠人員，他們答覆 NRC 給予 LEFM 流量計 48 小時允許修復時間 (Allowed Outage Time , AOT)，即 LEFM 發生故障而不可用時，在 48 小時內要修好恢復可用，否則依據 Transducer 故障支數，反應爐額定熱功率成比例降載，如 1 組量測平面上 8 支 Transducer 皆故障，只剩下另 1 組量測平面上 8 支 Transducer 可用，則降載 0.8 % (1.65 % ÷ 2)。為避免已提升之功率回降，電廠準備相當多 LEFM 流量計系統的備品，包括 Transducer、控制模組卡片、電腦程式磁碟備份等，以爭取在 48 小時允許修復時間內修護完成。另他們同意提供 LEFM 相關程序書給台電公司，作為核二廠未來制定程序書的參考。

另詢問 Seabrook 核能電廠人員有關 NRC 針對 LEFM 流量計正式使用後，小幅度功率提升案之相關管制作業，他們答覆 NRC 駐廠人員於 LEFM 流量計正式使用初期時，曾要求電廠提供相關流體力學數據，之後再也沒有執行相關管制作業，且至今尚未聽到 NRC 將執行任何 LEFM 流量計，或者小幅度功率提升案相關視察管制作業。

(三) Seabrook 核能電廠 LEFM 流量計現場參觀

Seabrook 核能電廠廠區門禁管制相當嚴格，廠區門禁由保全人員負責，且部分保全人員攜帶長槍守備，進廠前除填寫相關資料、檢查護照核對身分、接受輻射劑量全身檢測外，並接受類似進入美國海關之安全檢查，部分團員衣服上口袋內東西以及皮帶拿掉後，仍無法通過安檢門，最後發現可能所穿的皮鞋內有金屬片所引起，脫掉皮鞋後才通過安檢門，通過後再接受雙手指紋掃描，留下記錄後才進入廠區，因此廠區門禁管制比目前台電核能電廠所執行的嚴格許多。



在電廠人員陪同下進入 1 號機汽機廠房反應爐飼水系統飼水集管處，汽機廠房走道相當寬敞，且比核二廠的汽機廠房明亮。1 套 LEFM 流量計安裝於飼水控制閥上游的飼水集管上，離地面約 4.5 米，外面同飼水集管以隔熱保溫材料包裹，只露出 16 支 Transducer，LEFM 流量計周圍有設置一高架維護工作平台，以便於電廠人員執行維護作業（核二廠目前尚未規劃高架維護工作平台，劉宗興股長回來將建議核二廠考慮設置。）；LEFM 流量計的電氣盤安裝於高架維護工作平台正下方，電氣盤為一雙併式盤，右側盤為主要監控盤，左側盤為 4 小時的不斷電系統(UPS)盤(核二廠只有一監控盤)。電氣盤周圍相當寬敞，亦便於電



廠人員執行維護與現場控制作業。

電廠人員打開電氣盤門，並說明 Transducer 信號之傳送、盤內各儀控設備之功能、模組功能燈號之指示等，同行團員詢問操作、定期測試、維護，以及故障診斷相關問題，尤其是劉股長，因為他未來將負起核二廠 LEFM 流量計運轉之重責，電廠人員亦一一答覆，受益良多，相信對未來核二廠 LEFM 流量計之運轉有實質助益。因電廠內不宜外人拍攝照片，由電廠陪同人員代勞拍攝，再將參

訪照片電傳 Cameron 公司。在謝謝電廠陪同人員下，於 12 月 18 日下午結束 Seabrook 核能電廠的參訪後，亦由 Mr. Hauser 帶領前往下一站 Alden 實驗室，進行 LEFM 流量計校驗測試查核。



二、查核 Alden 實驗室執行流量測定儀器測試

(一) Alden 實驗室簡介

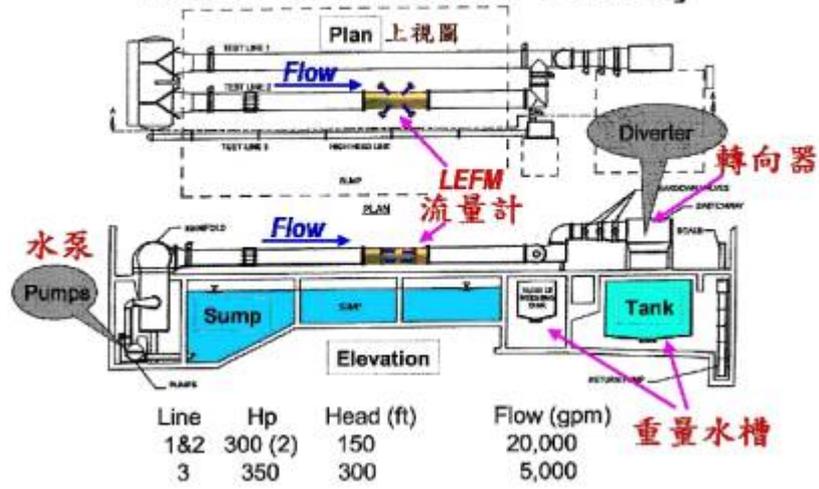
Alden 實驗室位於麻州 Worcester 北方 Holden 山丘上(離波士頓西方 40 英哩處)，由 Worcester Polytechnic Institute (WPI) 創立於 1894 年，是連續至今仍在經營的美國最古老，甚至是世界最古老之一的流體力學實驗室。從早期水力發電與航空的需求，經過第一次與第二次世界大戰，乃至今日環保的需求，Alden 實驗室在流體力學上的研究與開發皆有相當的地位。Alden 實驗室約有二十幾棟建築物，佔地 32 英畝，目前分為五個部門，包括：空氣與氣體流動模式建立組 (Air & Gas Flow Modeling Group)、環境水文組 (Environmental Group)、流體力學模式建立組 (Hydraulic Modeling Group)、數值分析模式建立組 (Numeric Modeling Group) 與流量計校驗組 (Flow Meter Calibration Group)，提供電力公司、製造廠商與流程工業在流體力學上相關研究與開發。



此次核二廠小幅度功率提升計畫中所安裝的 LEFM 流量計,是美國 Cameron 公司委託 Alden 實驗室流量計校驗組執行校驗測試作業,該組為美國國家標準科技研究所 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 在可追溯的水流量計校驗上,是美國境內最大的獨立供給者。Alden 實驗室的 Allen 水流量測試設備,包括:800KW 柴油發電機所帶動的水泵 (Pump) 三個容量從 1000 磅至 100,000 磅可秤重的水槽 (Tank) 200,000 加崙的集水坑 (Sump) 五個可適應尺寸從小於 1 英吋至 36 英吋流量計以及最長為 72 英尺的水流量測試迴路,以重量分析方法 (Gravimetric Method) 執行其流量校驗測試。

重量分析方法是將水從集水坑用水泵打入裝有流量計的測試迴路,再流入可秤重的水槽內,由量測的時間與水槽內水的重量,即可得到水流量測試值,此水流量測試值在與流量計所量測值比較,即可得流量計校驗測試的不準度 (Uncertainty),即流量計校正係數 (Meter Factor, MF) 該方法符合美國機械工程師協會 / 美國國家標準科技研究所準則 ASME/NIST MFC-9M-1988 "Measurement of Liquid Flow in Closed Conducts by Weighing Method", 以及國際標準組織準則 International Organization for Standardization Code ISO 4185-1980 "Measurement of Liquid Flow in Closed Conducts - Weighing Method"。

Alden Lab. 流量校正設備示意圖
Allen Calibration Facility





(二) 核二廠 LEFM 流量計校驗測試

結束 Seabrook 核能電廠參訪後，於 12 月 18 日傍晚抵達 Alden 實驗室，展開連續四天（12 月 19 日至 12 月 22 日）LEFM 流量計校驗測試的查核作業。核二廠全尺寸 LEFM 流量計已於 12 月 18 日上午安裝於 Allen 水流量測試迴路，此段測試迴路在水泵出口至轉向器進口管路，模擬核二廠未來實際安裝 LEFM 流量計的全尺寸飼水管路，依據流量計校驗測試計畫（附件三），測試內容包括：1、

不同流體力學模式，2、不同流量。





1、在 LEFM 流量計上游管路使用不同之流體力學模式測試，以確認其是否受不同之流動速度輪廓（Flow Velocity Profile）而影響其精準度。

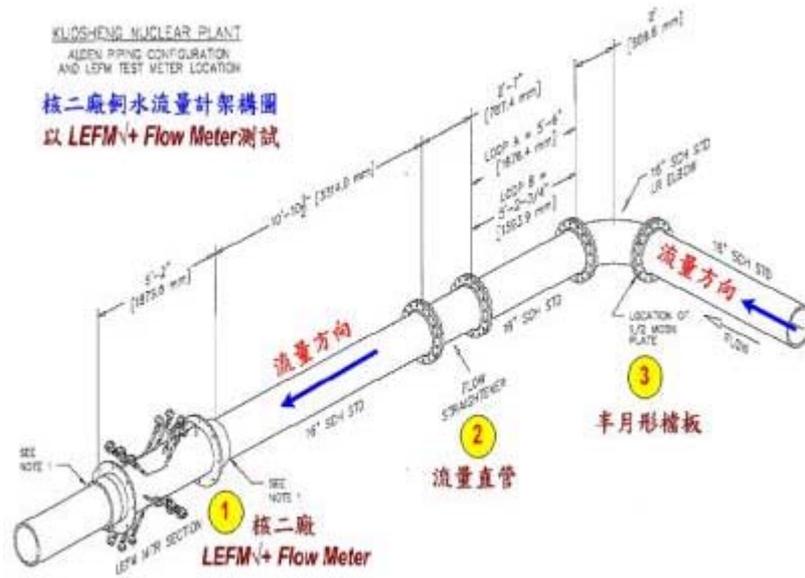
(1) 加入半月型擋板，以產生旋流（Swirl）。

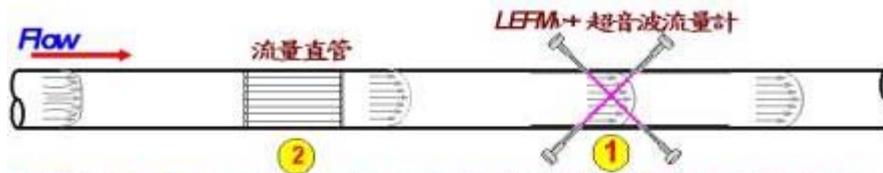


(2) 取走流量直管，以取消水流量整流。

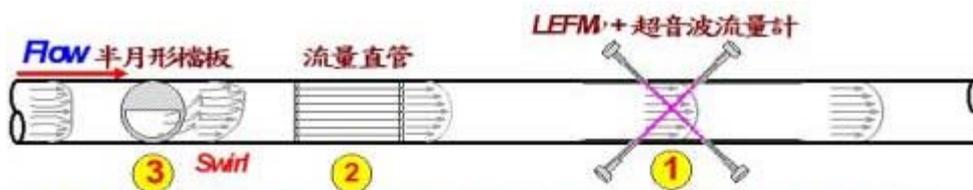


(3) 將 LEFM 流量計旋轉 90 度直立安裝 (Transducer 垂直於地面)。

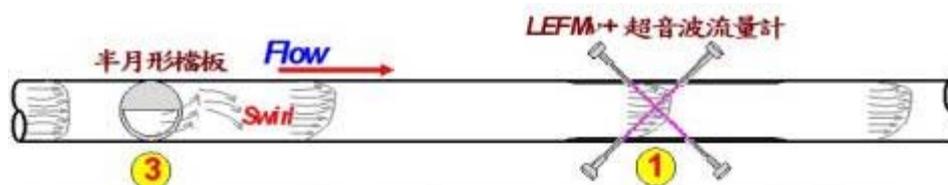




◆ **Flow Profile** : 測試 Transducer 在水平架構(正常位置)及垂直架構

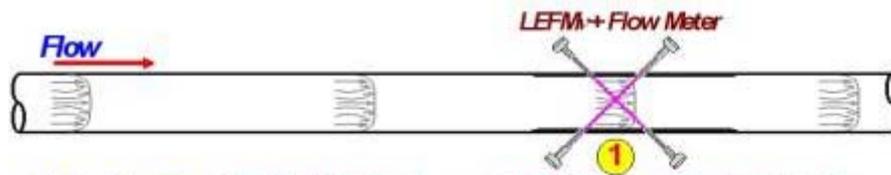


◆ **Flow Profile** : 利用半月形擋板產生 Swirl 測試 流量計 Meter Factor



◆ **Flow Profile** : 利用半月形擋板產生 Swirl , 同時將流量直管取走, 以空管替代, 測試 LEFM 流量計在旋流之 Meter Factor





- ◆ **Flow Profile**：將流量直管取走，以空管替代，測試 LEFM 流量計在無流量整流狀況下之 Meter Factor



2、使用五種不同之水流量，每種執行 5 次，每次取 5~15 分鐘數據，以校驗 LEFM 流量計之不準度。

- (1) 以約 2000 gpm (~ 454.22 T/hr) 水流量測試。
- (2) 以約 6000 gpm (~ 1362.7 T/hr) 水流量測試。
- (3) 以約 9000 gpm (~ 2044.0 T/hr) 水流量測試。
- (4) 以約 12000 gpm (~ 2725.3 T/hr) 水流量測試。
- (5) 以約 132000 gpm (~ 2997.9 T/hr) 水流量測試。

上述將 LEFM 流量計旋轉 90 度測試原本不在測試計畫內，然因到達測試現場時，發現 LEFM 流量計以 Transducer 垂直地面安裝於測試迴路上，此安裝方式與未來於核二廠現場預定水平安裝似乎不同，查看核二廠 LEFM 流量計測試計畫 (附件三) 與立即連絡核二廠相關人員後，確認測試計畫所列之安裝圖有誤，並要求修正其安裝方式，因已完成幾組校驗測試數據，Cameron 公司決定增列 Transducer 垂直地面測試，以了解其差異性。



測試人員包括 Cameron 公司 4 員、代理商富迪斯公司直接由台灣派 1 員，以及 Alden 實驗室相關人員（至少 5 員）參與，執行校驗測試設備之安裝、測試迴路之水流量控制、測試數據之收集、測試數據之分析等。因測試時間快接近聖誕節，Cameron 公司與 Alden 實驗室技術人員為能提前回家，每天早上從 6 點就開始進行校驗測試，直到晚上 8 點為止。測試期間同團人員隨時皆可至現場參觀，並詢問測試人員相關問題或者拍攝照片；富迪斯公司的技術員與核二廠儀控課劉股長亦趁機學習拆解與安裝 Transducer，以及連接相關傳輸線路；Alden 實驗室 Dr. James B. Nystrom 亦曾簡報 Allen 校驗測試設備，包括：設備介紹、流量的量測、測試的不準度、影響不準度的因素、符合相關的法規、測試的可追溯性、測試的可重複性等（附件四）。

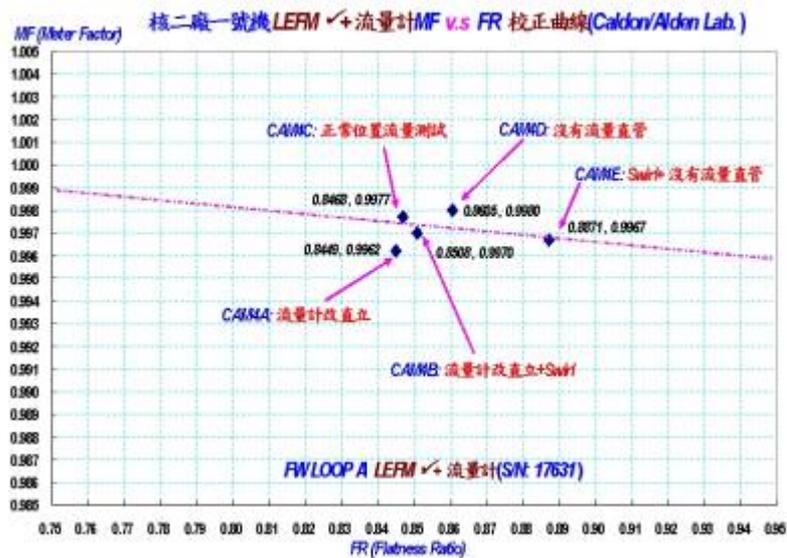
由於 Cameron 公司與 Alden 實驗室技術人員相當有經驗，LEFM 流量計校驗測試很順利於規劃時間內完成。由校驗測試所得的數據，Mr. Hauser 認為即將安裝於核二廠的 LEFM 流量計，其精準度應優於已安裝於 Seabrook 核能電廠的 LEFM 流量計，因此他不再說 Seabrook 核能電廠的 LEFM 流量計，而將改口宣稱核二廠的 LEFM 流量計是目前所安裝最精準的流量計之一。

流動速度輪廓測試結果在水流平面比(FR)0.85 與 0.95 間，流量計係數(MF)

僅有小於 0.08% 的變動：

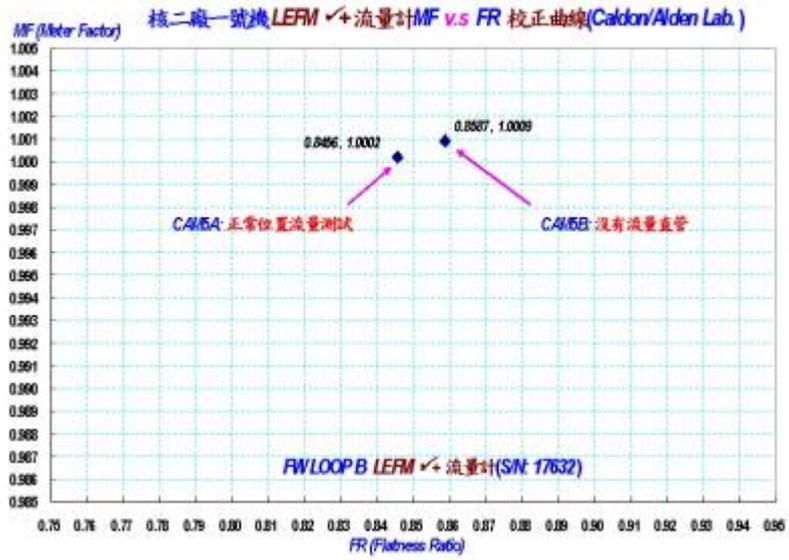
1、 1 號機飼水 A 串 LEFM 流量計 (S/N : 17631)

流體力學模式	FR	MF
測定計正常位置	0.8468	0.9977
測定計改為直立	0.8449	0.9962
測定計改為直立 + Swirl	0.8508	0.9970
測定計沒有流量直管	0.8605	0.9980
測定計沒有流量直管 + Swirl	0.8871	0.9967



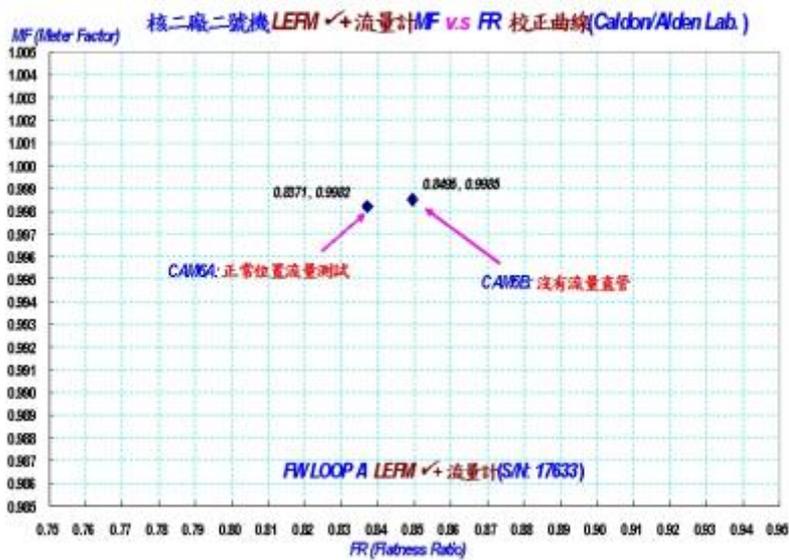
2、 1 號機飼水 B 串 LEFM 流量計 (S/N : 17632)

流體力學模式	FR	MF
測定計正常位置	0.8458	1.0002
測定計沒有流量直管	0.8587	1.0009



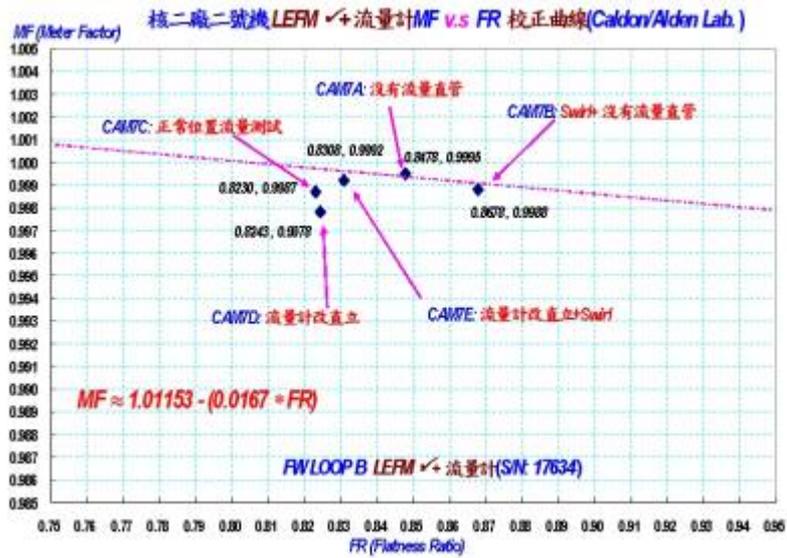
3、2 號機飼水 A 串 LEFM 流量計 (S/N : 17633)

流體力學模式	FR	MF
測定計正常位置	0.8371	0.9982
測定計沒有流量直管	0.8495	0.9985



4、 2號機飼水 B 串 LEFM 流量計 (S/N : 17634)

流體力學模式	FR	MF
測定計正常位置	0.8230	0.9987
測定計改為直立	0.8243	0.9978
測定計改為直立 + Swirl	0.8308	0.9992
測定計沒有流量直管	0.8478	0.9995
測定計沒有流量直管 + Swirl	0.8678	0.9988



5、 1號機飼水 A 串 LEFM 流量計之流動速度輪廓：

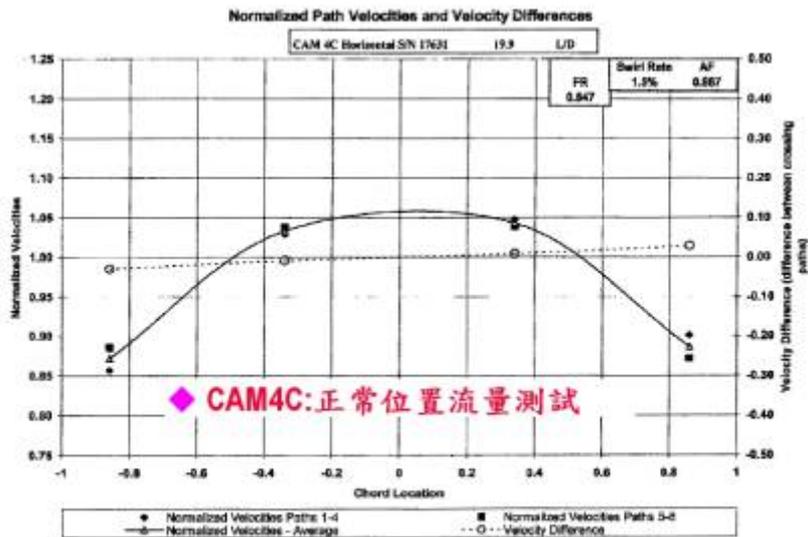
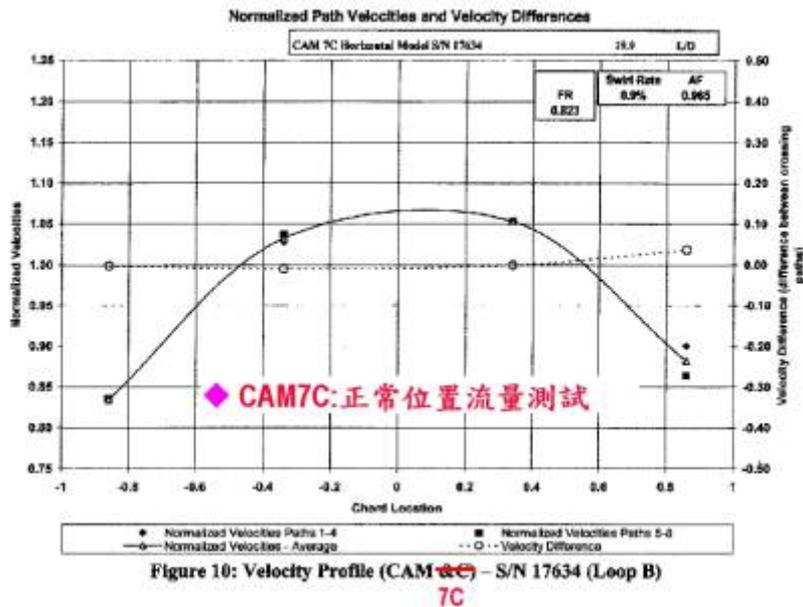


Figure 8: Velocity Profile (CAM4C) – S/N 17631 (Loop A)

6、 1 號機飼水 A 串與 B 串 LEFM 流量計之校正係數：

實質意義	各項不準度 (%)		系統各項不準度(%)
	A 串 17631	B 串 17632	
校正實驗室各項標準設備所得數據造成之誤差	0.09	0.09	0.09
校正實驗室所使用各類儀器量度所產生之誤差	0.13	0.13	0.09
校正實驗室內實驗條件與數據(如雷諾數)外插至電廠實際狀況之誤差	0.08	0.08	0.08
實驗室測試模擬環路之誤差	0.20	0.20	0.14
數據散佈所產生之誤差	0.03	0.01	0.02
SRSS 總值	0.27	0.27	0.21

7、 2 號機飼水 B 串 LEFM 流量計之流動速度輪廓：



8、 2 號機飼水 A 串與 B 串 LEFM 流量計之校正係數：

實 質 意 義	各項不準度 (%)		系統各項不準度(%)
	A 串 17633	B 串 17634	
校正實驗室各項標準設備所得數據造成之誤差	0.09	0.09	0.09
校正實驗室所使用各類儀器量度所產生之誤差	0.13	0.13	0.09
校正實驗室內實驗條件與數據(如雷諾數)外插至電廠實際狀況之誤差	0.08	0.08	0.08
實驗室測試模擬環路之誤差	0.20	0.20	0.14
數據散佈所產生之誤差	0.02	0.02	0.02
SRSS 總值	0.27	0.27	0.21

經由 Alden 實驗室校驗測試所量測數據以及其分析結果 (附件五) , 核二廠飼水 LEFM 超音波流量計之流量不準度, 其 SRSS 值(Square Root of Sum of Square) 為 0.21% , 較 Seabrook 核能電廠之值 (0.20%) 略大, 此因其為 20 吋之管路 (Seabrook 核電廠為 36 吋), 超音波在管路內之傳播路徑較短, 時間之量度誤差較大所導致。

(三) Alden 實驗室相關研究

測試期間 Alden 實驗室亦安排參觀以往曾執行或目前正在執行的相關研究, 包括: 水力發電廠水輪機葉片、火力發電廠汽機葉片、鼓風機風速量測、排風管內空氣流動模式 電磁式流量計測試等, 其中較引起同團人員注意的是 Alden 實驗室技術人員正在室內利用木板、鐵網、沙等材料, 依據美國 Cook 核能電廠實際比例製作海水泵進口水流模型, 模擬海水泵進口水深、進口渠道、海水泵前防護柵、海水泵等, 以便執行海水泵進口水流模式研究, 從進口水流模型內量測的數據, 可與電腦水流模式分析比較, 作為改善海水泵運轉之參考。

目前 Alden 實驗室總共只有六十幾位人員,由他們執行核二廠飼水 LEFM 超音波流量計的校驗測試,以及其他目前正在執行相關研究的情形,可以看出其效率相當高,值得國內研究單位學習。





肆、心得與建議

此次赴美實地查核在美國 Alden 實驗室執行核二廠全尺寸 LEFM 超音波流量計之校驗測試，以及參訪已安裝 LEFM 流量計的美國 Seabrook 核能電廠，其就了解其使用情形與經驗，其心得與建議簡述如下：

- 一、 Seabrook 核能電廠 LEFM 流量計安裝後，NRC 核准 1.7 % 反應爐額定熱功率提升申請案，然實際運轉時提升約 1.65 %。由實際運轉所量測相關流體力學數據，很接近 Alden 實驗室量測數據，且至今 LEFM 流量計運轉狀況良好，尚未發生故障而不可用，顯示 LEFM 流量計的精準與可靠性。
- 二、 NRC 給予 Seabrook 核能電廠 LEFM 流量計 48 小時允許修復時間，即 LEFM 發生故障而不可用時，在 48 小時內要修好恢復可用，否則依據 Transducer 故障支數，反應爐額定熱功率成比例降載，此可作為核二廠小幅度功率提升案審查與本會未來核准之參考。另建議核二廠應如同 Seabrook 核能電廠準備相當數量之 LEFM 流量計系統備品，當發生故障時，能在允許修復時間內修護完成，以避免已提升之功率回降。
- 三、 NRC 駐廠人員於 LEFM 正式使用初期時，曾要求電廠提供相關流體力

學數據，此可作為本會未來執行核安管制作業的參考。

- 四、核二廠全尺寸 LEFM 流量計之校驗測試結果，在水流平面比(FR)0.85 與 0.95 間，流量計係數 (MF) 僅有小於 0.08% 的變動，流量不準度之 SRSS 值為 0.21%，略大於 Seabrook 核能電廠之值 (0.20%)，可作為核二廠小幅度功率提升案審查與本會未來核准之參考。

伍、附 件

附件一：Ernie Hauser LEFM 流量計簡報資料

附件二：美國 Seabrook 核能電廠簡報資料

附件三：「Hydraulic Calibration Plan for Kuosheng Unit 1 & 2 LEFM
18”Chordal Spool Pieces」, Caldon ALD-1092

附件四：Alden 實驗室 PTC-6 流量計不準度校驗

附件五：「Uncertainty Analysis for Thermal Power Determination at
Kuosheng NPS 1&2 Using the LEFM CheckPlus System」，
Caldon ER-541 Rev.2